

科学者という職業*

エドワード・ノートン・ローレンツ**

まえがき

京都大学名誉教授 山元龍三郎
米国のマサチューセッツ工科大学 (M.I.T.) 名誉教授のローレンツ (Edward Norton Lorenz) 先生が、京都賞を受賞されたのは1991年11月のことであった。京都賞は、稲盛財団 (京セラの創設者の稲盛和夫氏が理事長) が人類の科学、文明の発展また精神的な深化や高揚に著しく貢献した人物に贈呈すべく設立したものであり、毎年、先端技術、基礎科学及び精神科学・表現芸術の3部門のそれぞれで貢献の著しい人物に贈呈されてきた。

ローレンツ先生の業績については既に周知のことと思われる。稲盛財団は、同先生の業績が、現代の気象物理学・気象学のコンピューターによる研究基盤を確立すると共に、それに伴う決定論的カオスの発見によって、ニュートン以来の近代科学の自然観に劇的な変革を与え、広い分野の基礎科学に大きい影響を与えたことを高く評価して、基礎科学部門の京都賞を授与することとした。この受賞は、既に、米国気象学会誌 (Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 72, p. 1025 [1991]), 英国王立気象学会誌 (Weather, Vol. 46, p. 398 [1991]) 及び日本気象学会誌 (天気, 39巻, 435~439頁 [1992]) で学界に報道されている。

京都賞受賞の際に、ローレンツ先生がされた一般向け講演「A Scientist by Choice」の内容の日本語訳が、最近稲盛財団から出版された (稲盛財団1991—第7回京都賞と助成金)。この時の審査に参加した筆者は、この講演の際に同席した同先生のご息が、今までこのような話を聞いたことがないと筆者に述懐されていたのを思い出しながら、読み返し、気象の分野の多くの

人々に読んで頂くことは有意義だと判断した。この講演内容の著作権を保有している稲盛財団から、転載について承諾を得ることができたので、ローレンツ先生の「科学者という職業」の天気への掲載を編集委員会に提案した次第である。なお、稲盛財団の許可を得て、原文の日本語訳を一部訂正した。

本文

科学者になってりっぱな仕事をするにはどんな人間でなければならないか? この質問をいろいろな科学者に向ければ、たがいに食い違いうさまざまな答えがたぶん返ってくるでしょう。科学畑以外の人達に尋ねれば、答えはおのことバラバラになりそうです。私はこの記念講演で私なりの意見を申し上げたい。それからその意見を補強する意味で、実例として私自身の人生をお話したいと思います。

まず第一に、科学者になろうとする人は、科学にまつわる事柄に、世界や宇宙で起こるさまざまな現象に強い好奇心を持っていなければなりません。水に小石が落ちると波の輪が広がっていきます。季節が秋になるとカエデの葉が鮮やかな赤やオレンジや黄色に変わります。あるいは火山が真っ赤に燃えた粉塵を空高く噴きあげることがあります。そんな現象にふれたら、どうしてそうなるのかと疑問を持たなければいけません。けれども一流の科学者をめざすなら、なぜそうなるかを知るだけでは足りません。なぜそうならなければならないのかと問わなければならないのです。科学者以外の暮らしを送っている人なら、水の波紋の規則性に目を見張り、秋の森の色合いに心をふるわせ、噴煙をあげる火山の姿に肅然とさせられることはあっても、そうした現象がどうして、なぜ起こるのかの説明には退屈するかもしれません。科学者はそれではだめなのです。

次に、優れた科学者は自分の興味をひく問題の回答

* A scientist by choice.

** Edward Norton Lorenz, マサチューセッツ工科大学名誉教授.

© 1997 日本気象学会

を追求し、最終的に発見できる力がなくてはなりません。才能は人それぞれ違います。この他優美な詩が書けたり、崇高な音楽を作曲できる人でも、科学的能力に恵まれているとはかぎりません。また当然ながら、掛け値なしに有能な科学者でも、他人の感心するような詩や音楽をつくれる人は少ないでしょう。

最後に、広く浸透して、おそらくは一般に受け入れられている説明以外の説明はないか、科学者たるもの常に注意を怠ってはなりません。明確に述べられた正しい説明を理解できるだけでは十分ではありません。ある説明の筋道を追いかねる場合には、たとえそれがその分野の第一人者の提出したものであっても、非はこちらの理解力ではなく、その説明そのものに潜んでいることがあるのを知る必要があります。どのポイントで議論をたどれなくなるかをつかまなければいけません。次にそれを理解できる形に説明し直すか、きっぱりはねつけて自分なりの説明を追求する用意ができなければならないのです。

こうした性質は小さい時すではっきりしているものでしょうか？

子供の頃に現れることはよくあると思いますが、もっと成長してから現れることがないという証拠は見えていません。

今度は私にごくなじみ深い実例を、つまり私自身の人生を見ることにしましょう。ただ皆さんに望みたいのですが、私の話をやや不完全な自伝としてもっばらお聞きになるよりは、一人の人間がどのようにして科学の道をたどるに至るか、また、その彼や彼女がどのように他の科学者の説にふれ、その説に反応し、自分自身のアイデアにぶつかってそれを育て、発展させた結果が、時には専門分野を越え、普遍的に価値のある貢献をするに至るか、そういう話として聞いていただきたいと思うのです。

コネチカット州のウエスト・ハートフォードで私は生まれました。8,000人ほどの町でしたが、私が大きくなる間にその人口は3倍に増えました。隣接するのが州都のハートフォードで、こちらの人口は約15万人です。豊かな近郊住宅街の例にもれず、ウエスト・ハートフォードにはこの町独自の庁舎と消防署・警察署、学校制度がありましたが、事業や会社といったものはほとんどなく、住民の大半がハートフォードで働いていました。私は17歳までウエスト・ハートフォードの公立学校に通いました。けれども私にとって本当の先生は両親でした。

父のエドワード・ヘンリー・ローレンツはハートフォード育ちの機械技師でした。ピンなどのガラス製品を製造する機械を設計するのが仕事でしたが、科学のあらゆる方面にひとかたならぬ興味を抱き、中でも数学が大好きでした。母のグレースは旧姓をノートンといい、シカゴで教職の経験があり、そこでは地域活動にも深く関わっていました。二人は1916年に結婚し、それを機にウエスト・ハートフォードに家を買いました。翌年私が生まれたのです。

幼い時から私は数字の魅力に取りつかれました。母の話では、2歳にもならない頃、乳母車で散歩に連れていくと、家々の番号を残らず読んだそうです。数年して掛け算というものを覚えると、完全平方の数が気に入って、1から100の2乗の10,000までをそらで言えました。もっと後では、父と何時間も数字のパズルで遊びました。平方根を手書きの計算で求めて楽しんだり、立方根を開く方法まで覚えたものです。これはいまでは無駄で面倒なだけと相手にされないやり方で、私もとうの昔に忘れてしまいましたが。

もうじき7歳になるという、ある日曜の午後をはっきりと覚えています。ハートフォードの数マイル東にある知人の農場に家族皆で遊びに行った時のことです。その頃私は地図にはまっていて、地図の一部分を拡大した図を眺めるのがとりわけ大好きでした。自分で想像した土地の地図を描いて、その一部を拡大し、そのまた一部を拡大したりしたものです。その知人の家で地図を見つけて私は読み始め、あげくに、さまざまな大きさの円形の物体がいくつも載っているページに行きあたりました。特に気に入ったのは、周りに大きな輪のついたボールのように見える物体で、いつか漫画で見た変な帽子を私は連想しました。これは何なのと父に尋ねると、父はいろいろな惑星や土星の輪のことを話してくれました。その午後が、いまに至るまで消えない天文学への愛着の始まりでした。1年足らずのうちに私はその報酬をもらいました。ハートフォードに皆既日食が訪れたのです。凍つくような寒い日で、雪に覆われた野原に影の帯がゆらめくのが見えました。

大人になって私が科学の道に進むのをその当時予測できたでしょうか？ 数字と地図と惑星だけが興味の対象だったらおそらくできたでしょう。でも他にもあったのです。ほとんどありとあらゆるカードゲームとボードゲームが好きでした。大部分は母から習いました。家にいる時の私の退屈をまぎらせようと教えて

くれたのです。母はチェスの名手でしたから、自然に私もチェスを覚えました。その後私はハイスクールのチェス・チームの主将になり、大学でも主将を務めました。いろいろ覚えた中に、残念ながら囲碁は入っていませんでした。

ふつうのゲームの他、クロスワードパズルとジグソーパズルがあり、いまもって愛好しています。子供の頃に遊んだ20組ほどの高級な手作りの木のジグソーパズルを私はいまだに持っています。父と私は全部のピースを文字通り覚えこんでいました。それぞれのパズルをどちらが早く完成できるか競争したものです。箱の裏カバーに書きつけた二人のタイムが現在も残っています。

音楽にかけていい耳を持っていた私は、母の歌が調子はずれなのを3歳にならないうちに知りました。それでも母の歌声を聞くのは好きでした。9歳の時、バイオリンを習うようになりました。初めはレッスンが楽しかったのですが、必要な指の器用さを私は持ちあわせず、本当に心地よい音を出すことも、ビブラートをかけることもできませんでした。いまになってわかりますが、私が本当に求めていたのは音楽について学ぶことで、演奏のやり方ではなかったのです。

同年齢の男の子よりたいてい私は小柄でしたし、ほとんどのクラスメートより1歳年下でした。そのためもあって、私はチーム・スポーツがついにうまくありませんでした。試合に加わろうとしても格別いい顔はされませんでした。ハイスクールに進む頃には、水泳で仲間達になんとか追いつくことができました。たいていの友達のほうが泳ぎはいくぶん速かったものの、私は誰よりも長く潜水できたのです。数年の夏を過ごすうちに水泳とともにハイキングも好きになりました。やがて私は誰よりも速く山の頂上にたどりつけるようになりました。運ぶべき体重があまりなかったからです。今日に至るまで、音楽とならんで山登りは余暇を過ごす最大の楽しみになっています。

子供の頃やったいろんなことが、身近にいた他の多くの子供と違っていたとは思いません。私にない関心を持っていた友達が少なくなかったのは確かです。けれども科学以外の仕事に進んでもよかったほど、私の関心は多様だったとはいえるかもしれません。

とはいえ、ダートマス・カレッジに入学した時、数学を専攻する気持ちはもう固まっていました。例えば歴史などを専攻して、かたわらで数学のコースをとるほうがよくはないかと指導教師に勧められもしまし

た。受講した物理学と地質学の初級コースも魅力はあったのですが、私の気持ちは変わりませんでした。この初級コースで説明される議論の筋道に単純についていけない例があったのです。後から振り返ると、教科書が簡単な説明を意図するあまり、簡略にしすぎて考え方の論理的つながりを壊してしまったようなのですが、当時の私にはそれがわかりませんでした。最上級生になって数学科の講座で数理物理学のコースをとったとき、数式で表現されると、理解できなかったいくつかのポイントがはっきりしました。

卒業を前にして、数学の勉強を続けたいと改めて考え、それで1938年の秋、私はハーバード大学の大学院に入りました。科目のことがとくが楽しみなカリキュラムだと思うと、想像がはちきれんばかりにふくれたのです。ダートマスでの基礎勉強はりっぱなものだったとわかりましたが、群論、集合論、組み合わせ位相幾何学など、皆目知らなかった概念や研究分野がたくさんあることに私はやや圧倒される思いでした。数学科の他の大学院生と親しくなって、あれこれ専門的議論を交わしたのはかけがえのない経験で、親しい思考方法になじむうえで役立ちました。

最終的にはジョージ・パーコフの指導のもとで数理物理学の一分野に取り組むことにしました。物理学のようである物理学ではないと私の言ったのをパーコフ先生が認めてくれたからかどうかはわかりません。パーコフ先生はアメリカを代表する数学者の一人で、彼の仕事は数学のほぼすべての分野をカバーしていました。美学の数学理論を定式化したことでも有名でした。初級コースでの彼の講義は時についていくのが困難でしたが、現に取り組んでおられる問題をしばしば扱った上級コースの授業は実に圧巻でした。時として、先生自身がそれまでつかんでいなかった結果を授業中に黒板上で引き出されるところを、私達はじっと注目したものです。

変な話ですが、もともと数字に目がなくてこの学問に引きつけられたというのに、0と1と2を除けば、数字にはめったにお目にかかりませんでした。数を象徴する記号はいくらも出てくるのですが、数そのものは、整数論の講義にすら、決してといっていいほど登場しなかったのです。

大戦が勃発して、最終学年を完了できそうもないのがはっきりしてきました。一方、陸軍がいくつかの大学で気象学を学ぶ学生を募集するという告知を回覧していました。合格した者は兵籍に入った後入学を許さ

れ、卒業したい気象予報官になる、というものです。気象と、それがいきなり変化する様子には昔から大いに興味がありました。こうして、ハーバードから博士号を受けとる予定にしていた数か月前、私はチャールズ・リバーをほんの2マイル下ってマサチューセッツ工科大学に移り、100人の仲間達と一緒に、表向きは気象予報官になる勉強をすることになったのです。

やがて明らかになったのは、われわれは予報官ではなく気象学者になるのだということでした。その区別をつかむのには時間がかかりました。気象学は大気のあらゆる様相を扱います。どの子供も尋ねそうな「雨はどうして降るの?」というような単純な疑問に答えるのも仕事ですが、例えば「渦度と発散とはどちらが熱帯の天気変動に大きく影響するのか?」といった、素人にはちんぷんかんぷんであろう専門的疑問に答えを出すのも気象学の仕事なのです。気象予報は確かに有力なテーマであり、それが人間活動と広くかかわるために、気象学者の多大な努力を要求してきました。しかし天気図の書き方や天気予報をまるで知らなくとも、気象学で抜きん出た仕事をするのは可能なのです。

実のところ、私達は M. I. T. で気象学の大学院課程に入れられたのでした。ただ、あたりまえなら2年間かかる課程を8か月で詰め込まれました。午後は、事例研究に過去の天気図から選んだ一連の経過を使って予報を学びました。午前中のクラスではもっぱら理論を扱いました。大半は予報と関係すると思われましたが、中には予報の改善につながると思えないものもありました。M. I. T. の気象学科は世界のどこにもひけをとらない優れたもので、だから教官たちが学生に本物の科学を教えたいと思うのは自然でした。士官はジェントルマンであるという陸軍の哲学と、これはおそらく矛盾しなかったのです。

私の数学的素養と一番無理なくかみあいそうなのは気象力学の分野でした。気象力学の研究者は、液滴と固体の粒子がいくらか混じっている不均質な気体の巨大な塊として大気を眺め、凸凹のある表面を持ったほぼ球状の地球をそれが覆っているととらえます。現実にはこの不均質性と凸凹はしばしば無視されます。どの土地の気象も、気象力学者にとっては、その土地の気体密度、気圧、気温、三次元の風速、気体・液体・固体としての水分、そして厳密にいうなら塩分・ホコリ・煙といった不純物を加えた全体で構成されます。どんな土地であっても、これらの諸量が同時にとる値がその時の大気の状態を決めるのです。この状態は物

理法則にのっとって刻々と変化します。気象力学者はこうした諸法則を方程式の体系として表し、その式を広範な問題にあてはめるのが気象力学なのです。

現場の予報官は、そんな大気のとらえ方をせいぜいのところ不完全と見るでしょう。天気が形づくられる過程に予報官は注目します。その構造に含まれるのは、地球をとりまくジェット気流、移動する亜大陸サイズの暴風、もっと小規模だが勢力の強い、台風・サイクロン・ハリケーンなどと呼ばれる強い嵐、スコールを起こし、時には旋風を生むそびえたつ雲の峰、もっと小型の無害な雲。これで完全なリストとはとても言えません。こうした構造が日によって、時間によって位置と強さを変える経過を予報官は観察します。新たな構造が現れる兆候や古い構造が崩れていく兆候をとらえます。こうして獲得した知識を応用して天気を予報しますが、基本にある物理原則をはっきりと利用することはほとんどないでしょう。気象力学者にしても、こうした構造をむろん意識はしています。けれども彼の関心はその存在を説明することに限られるかもしれません。これとてもしばしばたやすい仕事ではないのですが。

課程を修了した後、私は4人の級友とともに M. I. T. に残って次のクラスの講師を務めるよう命令を受けました。上級のクラスを受講する機会がこれできたわけで、私はいっばしの気象学者になった気分を味わいかけていました。しかし優れた気象学科であっても、いくつかの基本思想が見あたらないように思いました。力学方程式を天気予報にどう使うか——そのために気象力学を研究するのだと私は素朴にも考えていました——を教わったことはついぞないばかりか、そのように利用できるという話すら聞いたことがなかったのです。のちになって知ったことですが、先生方は式を予報に使うすべを知らなかったのみならず、それが可能かどうかも知らなかったのでした。不可能だと他の大学の傑出した気象学者達が考えていることも後で知りました。

そのうちに、私は予報官として熱帯地方に送られました。そこで発見したのは、あれほど綿密に学んだ温帯地方の予報ルール多くの熱帯では通用しないということでした。予報技術を少なからず学び直さなければなりません。しかも今度は大学の教室の外で。それにまた、あらためて痛切に認識させられたのは、地球儀を見れば誰にもわかることですが、地球の多くの部分は熱帯であること、またそれほど明白ではあり

ませんが、気象に対する熱帯の影響はその地理的境界をはるかに超えていることでした。

戦争が終わると、ハーバードで数学の研究に戻るか、M. I. T. で気象学を続けるかの選択に迫られました。さんざん考えた末、私は気象学を選びました。数学は諸概念とその相互関係を扱う学問です。ある概念における理論を打ち立てるには、極めて集中した研究が要求されます。例えば素数の研究は何百年も前に始まったのですが、答えの出ていない問題がいまだにあります。数学者は、古くからの概念がまだしっかり理解されないうちに、いとも簡単に新しい概念をつくりだすように見えます。挑戦しがたいのある問題がいくつもたくさん出てくるのは疑いのないところでしょう。にもかかわらず、気象学上の未解決の諸問題のほうがより根本的だと私は考えました。その解決に寄与できる自信がありました。一例をあげれば、私が初めに教室で、次に現場で学んだ、予報官なら誰でも心得ている単純なルールがあります。すなわち、暴風は進んできた方向にそのまましばらく進み続ける、というものです。このルールを私も予報に使ってきましたが、暴風がその方向に進み続けるのはなぜなのか、その点でいえば、暴風がそもそもなぜ移動するのかも、学んだ覚えがありませんでした。こんな基本的問題が挑戦意欲をそそったのです。

気象力学への関心と、天気予報は気象学の重要な一部であるという考えを抱いたまま、私は博士論文に取り掛かりました。暴風の動きの予測に力学方程式をあてはめる方法を提案した論文です。いくらか修正を加えれば実用に使えたかもしれませんが、当時開発中だった他の方式よりも私の方法は面倒でした。だからこれが実用に供される時がくるとは思っていません。

けれども教室は論文を受け入れてくれました。この月は実際、私にとって素晴らしい月でした。数週間してジェイン・ローバンと結婚したのです。彼女は気象学科で研究助手をしていました。結婚後、私はそのまま M. I. T. で博士課程修了の研究員として、数か月前に教室に着任したばかりのビクター・スターの指導するプロジェクトで働くことになりました。ジェインはしばらくの間仕事を続けました。

スターはまだ40歳前の若さながら、世界でも屈指の気象力学者と目されていました。彼は私の指導教師に、そして親友になりました。最初私は彼の弟子として、私がスタッフに加えられるからは同僚として、引退してほどなく彼が世を去るまで、4半世紀を越えて一緒

に仕事をしたのです。

スターは講義でも論文でも、自分の理論を実に明快に提示しました。大気について、それまでの研究者が解決できなかった事柄に力学方程式を正しくあてはめ、意味深い結論を引き出す力量がありました。私達が知り合った数年のうちに、暴風がなぜあのように進むのかについて、初めての説明ではないものの、私が心理解できる最初の説明を彼は提出しました。皮肉なことに、この論文は、私の知るかぎり、掲載を断られた彼の唯一の論文なのです。専門的に誤っているというのではなく、いくぶんあいまいだという理由で、私個人としては、スターの説明はいまなお他のどれにもまして明快だと思うのですが。

20世紀も中間点を迎え、気象学は急速に前進する兆しを見せていました。中でも注目すべき新展開は、力学方程式を解くことで気象を予測する数値予報でした。これは何年も前から可能性が説かれてはいたものの、不可能とする意見も根強かったのです。しかしいま、一部の気象学研究グループでコンピューターを利用するようになったため、現実性が高まってきたのでした。私は作業の進展を熱心にフォローし、研究者の何人かと知り合いになりましたが、自分で直接かかわることはありませんでした。

アメリカの大学の気象学研究は当時もいまもほとんどそうですが、私達の研究も外部の団体の資金で行われていました。私達の研究契約は自由にやれる余地が大きかったとはいえ、大気の大循環を調べることに決められていました。大気の大循環というのは、地球をとりまく偏西風・偏東風の流れ、およびそれにともなう南北の極や赤道方向に向かったり上や下に向かう偏流をいいます。それと、こうした動きにともなう気温や湿度のパターンも含めて考えるのが一般です。私はこの大循環の動態と主にかかわるようになりました。

研究の過程で、アリゾナ州フラッグスタッフにあるローウェル天文台にひと夏来てみないかと誘われました。ここでは委託プロジェクトで他の惑星の大気循環を調査していたのです。私は喜んで応じました。そこで手に入れた若干の成果は、興味深いとはいえびっくりするようなものではありませんでした。ですから、気象学から天文学に鞍替えしようと真剣に考えることはなかったものの、大型屈折望遠鏡の操作を覚え、木星の観測に夜の幾多の時間を費やしたことで、子供の頃からの夢が一つかなったのです。

私が初めて意味のある発見をしたのはそれから数年後のことでした。注目はされていながら未解決の問題がありました。地球に達する太陽エネルギーの一部分が大気を動かす運動エネルギーに変わり、それによって摩擦で消えるエネルギーと置き換わるという一連の現象です。スターと私は以前からこの問題をたびたび話し合っていたのですが、大気中にすでに熱の形で存在するエネルギーのどれだけが運動エネルギーへの交換にあてられるか、そこにはなんらかの尺度があるはずだというのが彼の意見でした。

気象力学の研究は数学的性格のため、大部分は黒板か紙と鉛筆を使ってやっていました。コンピューターはまだ一般的ではなかったのです。ただし全部を研究室でやったわけではありません。スターはやがて博士課程修了の연구원や大学院生をたくさん抱えました。それで私達はよく町の食堂で昼食を一緒にとりました。私達が引き上げる頃には、紙ナプキンやテーブルマットは、たいいてい方程式やら図式のスケッチやらで埋まっていたものです。

ある日の夜、真夜中過ぎに自宅で目を覚ました私は、利用されるエネルギーについてまた考え始めました。妻と子供達はよそへ出かけていて、あたりはすっかり静まり返っていました。数分すると、利用されるエネルギーを定式化する方法を私は思いついていました。再び眠りにつく前、1時間かそこらのうち、この「新たな」エネルギー形態を特定し、太陽熱でそれが生まれ、ついで上昇気流と下降気流のシステムによって運動エネルギーに変えられる割合を表すのに要する式をことごとく考えつきました。少なからず心が高ぶりましたが、ようやくまた眠りに落ちました。けれども1時間ほどですぐ目が覚めて、今度は、地球規模の気流の有効エネルギーがその上に重なっている嵐の有効エネルギーに変換される過程を表す一群の方程式を引き出しました。これは大気エネルギー・サイクルで欠けていた最後の環だったのです。次に目覚めると明るくなっていました。私は鉛筆とメモ用紙をひつつかみ、あれは空想にすぎなかったのかどうか確かめようと、夜中に私の頭をよぎっていった方程式を書き始めました。数学的ミスは見あたりませんでした。出勤した後その方程式をスターに見せました。何もかもすっかりと解かれていることにスターは、最初やや驚いたふうでしたが、すぐに、できるだけ急いでこの成果を発表したまえ、といいました。そこから生まれた論文は、肝心な作業は鉛筆も明かりもなく1、2時間で完

成したとはいえ、私の最も重要な仕事の一つだといまでも思っています。

ここで、成果の樹立とその発表について、いささか私見を述べておくのが適当でしょう。論文を提出してみると、同じ内容をもう誰かが発表済みだったと知らされる——そんな羽目に陥りたくないのは誰だって同じです。ある問題を研究する前に、有能な研究者ならその問題に関連するそれまでの研究すべてを把握しておくだろう、という意見を見たことすらあります。私は必ずしも賛成しません。

一つの狭い主題に限定できない新しいアイデアをたえず発想している人だとすると、着手して自分で結果を樹立するよりも、文献に目を通して自分の仮説がもう証明済みか、成り立たないことが証明済みかを調べることのほうによい時間をとられるのは目に見えています。それにまた、他人の成果と同じ結果を生むことのほうが、結論をただ読むよりもその主題を深く把握できますし、応用の可能性を考えることもできるのです。

発表しがいのある成果を上げたら、研究の重複はないかと文献を調べるのはその時です。その場合でも、発表の日時を大きく遅らすほど幅広く調べるべきではありません。割合早くに重複が見つからなければ、その成果はたぶん初めてのものですし、仮にそうでなくても、審査者がおそらく承知していることでしょう。私の書いた中で言及されることの一番多い論文は、最初に読んだ審査者が、結果の一部は他で以前に発表されているが、後の大部分は初めての成果だと気づいてくれたものです。草稿を書き直して再提出するのは簡単でした。審査者にもらった文献を引用しながら頭の部分を背景資料として提示し、次に新たな成果をもとの形でつけ加えたのです。

それから1年ほどして、トマス・マローンが気象研究センターの新設のためにわれわれの学科を辞め、私が彼の後任ということになりました。マローンは統計を用いる気象予報のプロジェクトを統括していました。その主要なツールは線形回帰——気象を支配する力学方程式ではなく、過去に観測した気象のふるまいを基礎にした統計学的手法です。線形回帰による予報は、例えば明日の東京の気温は今日の京都の気温の0.7倍プラス昨日の鹿児島島の気温の0.3倍だろう、というように予測します。もっとも、いまあげた具体的計算からは、さほどいい結果はたぶん出ないでしょう。コンピューターの発達にともなって、数多くの場所の気象

要素を総合することができるようになりました。確立した方式から定まる数をそれらの値に掛けあわせて、単一の公式を生み出すのです。マロンの地位とともに彼のプロジェクトを私は引き継ぎました。そこには優秀な大学院生も何人かいました。こうして私は統計学にも首をつっこむことになったのでした。

線形回帰の有効性は、数値予報を含むどんなやり方にも本来劣らない数学的証拠がある、と以前から主張されてきました。私は疑いを持っていました。そこで簡単な方程式のシステムを使って——そんなシステムを今日では「モデル」と言います——この方法をテストしてみようと私は提案しました。このシステムで人為的気象データをつくり、その後線形回帰の方法でそのデータを再現できるかを見極めるのです。まもなく気づいたのですが、人為的データが周期的で、以前の値を規則的間隔で繰り返すとすれば、線形回帰は完全な予報を生むはずで、それでテストのためには、現実の大気が一般にそうなのとちょうど同じように、そのたびごとに解にバラツキが出るようなモデルを見つける必要がありました。

コンピューターは処理速度がしだいに速くなり、小型化してきていました。ある日、わが学科の博士課程修了研究員だったロバート・ホワイト君が——彼はのちに米国気象局の局長になりました——オフィスに私専用のコンピューターを入れてはどうかと勧めたのです。パソコンの時代だというのに、なぜ私がそれまでぐずぐずしていたのかと疑問を持たれる向きがあるかもしれません。でも1958年には、個人用コンピューターなどほとんど前例がなく、私にはそんな発想は思いもよらなかったのです。やがて私はロイヤル・マクビーLGP-30という大型デスクほどのコンピューターを手に入れました。数を使って物事を処理するという願いもまた満たされそうなことに、突然私は気づいたのでした。

コンピューター・プログラムの書き方と活用の仕方を身につけた後、私はいろいろなモデルを片っ端からテストにかけて、最後に12の方程式からなるモデルに到達しました。12の変数は、地球をとりまく偏西風の速度といった、気象の全体的特徴を表すものです。スタート時の気象パターンを表す12の変数を入力すると、コンピューターは6時間ごとのステップで気象パターンを計算していきます。各ステップには約10秒を要しました。4ステップごとに、つまりシミュレートした1日ごとに、12の変数の新たな値をコンピューター

ターがプリントアウトします。これにも10秒かかりました。数時間後には大量の数字が生みだされ、12の欄の一つを眺めて数値の変化の様子を調べるのは簡単でした。周期性の徴候はまったくありません。さらに数週間、私は折にふれて、時にはスタートの条件を変えてコンピューターに計算の結果をはき出させました。全体的反応に周期性がないことは確実になりました。シミュレートした気象に線形回帰の方法をいざあてはめてみると、平凡な結果が現れただけでした。

ある時点で一つの解をもっと詳しく検討したいと思った私は、コンピューターを止めて、その前にプリントされていた数字の列から12の数値をタイプインしました。再びコンピューターを作動させ、コーヒーで一服しようと外に出ました。1時間ほどして部屋に戻ると、コンピューターは約2か月分のデータを生産していました。ところが新しい解と最初のとがまったく食い違っているのです。初めはコンピューターのトラブルかと思いました。トラブルはけっこう多かったのです。しかし、新しい解をステップを追って前の解と照らしあわせていくと、最初の解の数値は同じで、次には小数位の最後に1だけ差が現れ、それからその差はしだいに大きくなっていき、シミュレーション上で約4日後には2倍の開きができました。あげく、6日後の両者の解は似ても似つかないものになってしまったのです。

ほどなくして私は何が起きたかを悟りました。コンピューターは小数点以下第6位くらいまでの数値を扱っていたのですが、12個の数値を1行にまとめて表示するために、プリントされた数値を小数第3位までで四捨五入するよう指示しておいたのです。ですから、タイプインした数値はもとの数値ではなく、近似値にすぎなかったのです。モデルには2つの解のわずかな差異を増幅していく性質があったと見えます。それで最後にはランダムに選んだ2つの解といえるほどの違いになったのでした。

ここにきて私はかなり興奮しました。実際の大気がこのモデルと同じようにふるまうとすれば、長期の気象予報は不可能だと知ったからです。なぜなら実際の気象要素の大半は、小数第3位まで厳密に測定できないのは確かなのですから。それから数か月の間に、周期性がないこととわずかな差異の拡大とは、なんらかの関係があると私は確信するに至りました。そして結局は、おおむね一般的な条件のもとでは、どちらのタイプの反応も他方を含んでいることを立証することが

できたのです。

こんな反応を表す現象を、今日ではしばしばひとまとめに「カオス」と呼んでいます。大気の予測可能性——気象のさまざまな要素をさまざまな範囲でどこまで予測することができるか——が、やがて私の第一の関心になりました。近年では、大気の大循環にとって代わって、最大の精力をふり向ける気象学のテーマになっています。あるセミナーで、講演者の私を紹介して司会者が「ミスター予測可能性」と呼びましたが、不正確な数値を入力したあの瞬間がなかったとすれば、予測可能性とかかわるようになったかどうかは知る由もありません。

大気のカオスの反応が重要なのは、予報能力に影響するからだけでなく、それをはるかに超えた意味を持つからです。科学実験を考えてみてください。物理学者や化学者が実験をする場合、別の誰かがやっても同一の結果を得られるのでなければならぬ、というのが常識です。結果に食い違いがあれば、実験のどちらかがあやしいと思われるでしょう。ところが気象学者など地球科学の研究者は、たがいにごく近似する実験結果を出せないことがたびたびあり、全体の質的類似で満足したりするのです。だからといって気象学者が物理学者や化学者よりもいいかげんとはいえません。よりカオスの現象を相手にしているというだけのことなのです。

空気がたえず上下運動している対流雲の形成に関する仮想実験を考えてみましょう。この種の雲を実験室で再現するのは困難です。だから実験といっても、ふさわしい場所に出かけて行って、都合のいい天候が現れるのを待つこととなります。選んだ場所の付近一帯で、早朝2日間の気象条件が見たところ同じであるとします。正午が近づくとつれて、そのうち1日では小さな、どうということのない雲が現れるのに対して、他の1日では空高く雲がそびえたち、にわか雨になるかもしれません。この違いが起きるのは、大気の対流が本来カオス的だからではないでしょうか。それで、感知できない早朝のわずかの差異が何倍にも増幅していくのだと考えられます。雲を実験室で仮につくれたとしても、その後の実験では、目に止まらない小さな差異に始まって、結果の差異は大きくなっていったかもしれません。

最近では気象学の実験をコンピューターでやるのが増えてきました。これならどんな実験でも再現できそうに思えるでしょうが、実験のお膳立てを厳密に同

じにしないかぎり、コンピューターといえどもそうはならないのです。実験を別のコンピューターに移すにしても、数値の丸め方が異なるという単純な違いがあるだけで、実験結果が変わってくるおそれがあります。そんな時、どちらの実験が決定的だと誰が判定できるでしょうか？

終わりに、カオスの現象の存在で、正当でない、そればかりか不正直な実験結果が発表されたり広められるおそれが増しうることを指摘したいと思います。お粗末な科学と不正直な科学とは同じではありません。意図はどれほどよくても、気づかないまま誤りを犯すことはあります。結果を偽るのはいうまでもなく不正直ですが、カオスの現象に事欠かない科学では、不正直はもっと見えにくい形をとるものです。

例えば、気象学者がある仮説を想定し、その実験的確認を望むとします。何回もの実験を行って、その実験のうち何%が自分の仮説に有利であるかを報告するとします。これはりっぱな科学でありえます。それとは違い、数回の実験から仮説に一番有利な一つだけを選ぶとすれば、数値を偽ることなくそれができるわけですが、それでもこれは、証明のために有利な実験を選んだと特に断らないかぎり、不正直な科学といえます。

もし彼が実験を1回だけ行ってそれに基づいて報告し、もう一度実験したら別の結果が出たかもしれないのをぜんぜん意識しないとすれば、お粗末な科学とはいえても不正直とはいえません。1回だけ実験して、その結果が自分の仮説に有利なのを見て、再び実験すれば不利な結果が出るかもしれないと思いつつ、実験はここでやめようと思つてとすれば、有利な結果が出た時点でやめたと説明を加えないかぎり、これもまた完全に正直とはいえません。有利なうちに手をひくのは賭博場では良策でしょうが、一連の科学実験はゲームではないのです。

一部の地球科学や生命科学のように、精密さで劣ると時にいわれる科学は、物理学や化学のいくつかの分野のようないわゆる精密科学と、科学である点でなんら変わるものではありません。これらはただ、カオス的な過程をより多く含むことから、実践にいつその慎重を要するというだけなのです。物理学者が時に成し遂げる高度な精密さにかねてから私は畏敬の念を覚えてきました。しかしそれほど精密とはいえなくとも、気象学の道を選んだ自分の決断を悔やんだことは、かつて一度もありません。

本欄は「稲盛財団1991—第7回京都賞と助成金」(稲盛財団, 1993, 256pp.)の p. 110~p. 135 に取められたローレンツ博士の「科学者という職業」を稲盛財団の許可のもとに転載したものであり, 原文を忠実に再現

したために, 「天気」の通常の印刷スタイルと異なる部分があります.

(「天気」編集委員会)